

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ RF-2BB-36 И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО РАБОТЫ

Крутиков М. В., Блинов В. Л.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия.

michail.krutikov2809@mail.ru vithomukyn@mail.ru

<mailto:shamanin0090@gmail.com>

Аннотация: в настоящей работе представлена разработанная численная и математическая модель центробежного нагнетателя природного газа, проанализировано влияния положения входного направляющего аппарата на параметры работы нагнетателя, описаны рекомендации по повышению эффективности его работы.

Ключевые слова: центробежный нагнетатель; входной направляющий аппарат; регулирование; математическая модель; вычислительная газовая динамика; характеристика.

ANALYSIS OF THE OPERATION CONDITIONS OF CENTRIFUGAL BLOWER RF-2BB-36 AND THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF ITS WORK

Krutikov M., Blinov V.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

michail.krutikov2809@mail.ru vithomukyn@mail.ru

Abstract: this paper presents the developed numerical and mathematical model of the centrifugal compressor, tested the influence of the position of the inlet guide vane on the parameters of the compressor, describes the recommendations to improve the efficiency of its operation.

Key words: centrifugal compressor; input guiding vane; adjustments; mathematical model; computational fluid dynamics; characteristic.

Центробежные нагнетатели (ЦБН), также называемые радиальными компрессорами, являются ключевым оборудованием в различных областях промышленности. Особо широкое обращение ЦБН нашлось на газоперекачивающих станциях отечественной газотранспортной системы

(ГТС). Большинство нагнетателей, использующихся на ГТС, спроектировано и введено в эксплуатацию до 90-х годов предыдущего столетия. В связи с постепенным изменением направлений и объемов транспорта газа, а также развитием новых технологий проектирования и изготовления оборудования данного класса, возникает необходимость в модернизации проточных частей ЦБН или адаптации существующих конструкций к новым режимам работы за счет незначительных изменений их конструкции.

В качестве объекта исследования выбран двухступенчатый ЦБН с регулируемым входным направляющим аппаратом (ВНА) 1-й ступени типа RF-2BB-36 (Рисунок 1). Целью настоящего исследования является повышение эффективности работы исследуемого нагнетателя в сложившихся эксплуатационных условиях, за счет изменения угла установки ВНА, с применением современных инженерных методик. Регулирование ВНА может повлиять на определенные параметры нагнетателя, тем самым повысить его эффективность работы [1,2,3].

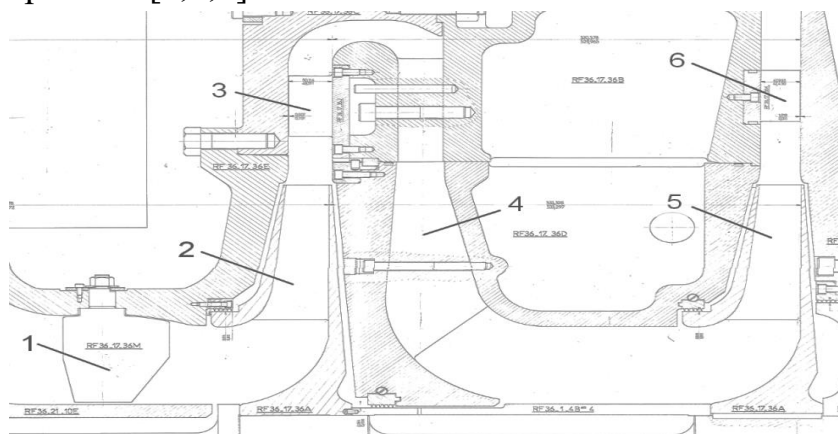


Рисунок 1 – Продольный разрез нагнетателя типа RF-2BB-36 [4]: 1 – ВНА; 2,5 – Рабочее колесо (РК) 1-й и 2-й ступени; 3,6 – Лопаточный диффузор 1-й и 2-й ступени; 4-Лопаточный обратный направляющий аппарат

В процессе исследования выполнено сканирование геометрии основных элементов проточной части нагнетателя и построение на ее основе твердотельной модели и меридионального сечения ЦБН (Рисунок 2 – 3) [5]. На основе полученных геометрических данных создана математическая модель и проведено численное моделирование.

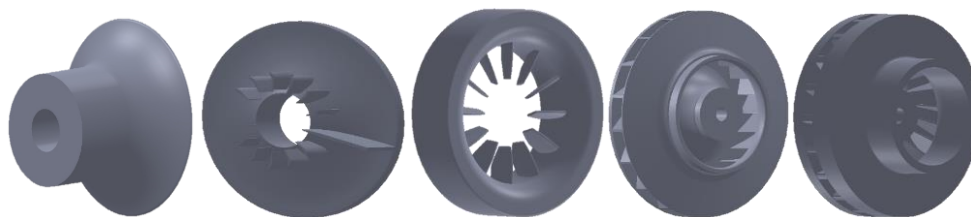


Рисунок 2 – 3D модели (слева-направо): втулки, крышки, ВНА, РК и ОНА

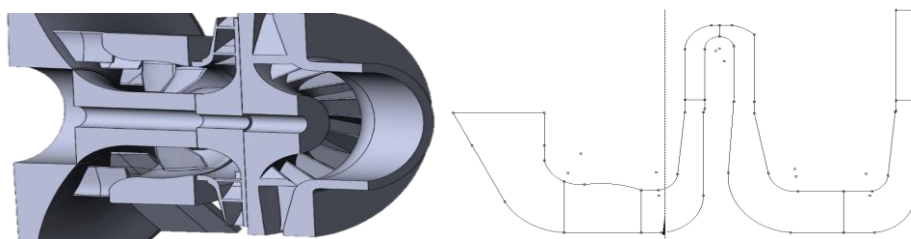


Рисунок 3 – Разрез сборной 3D модели (слева) и его меридиональное сечение (справа)

Структура математической модели представлена на рисунке 4.

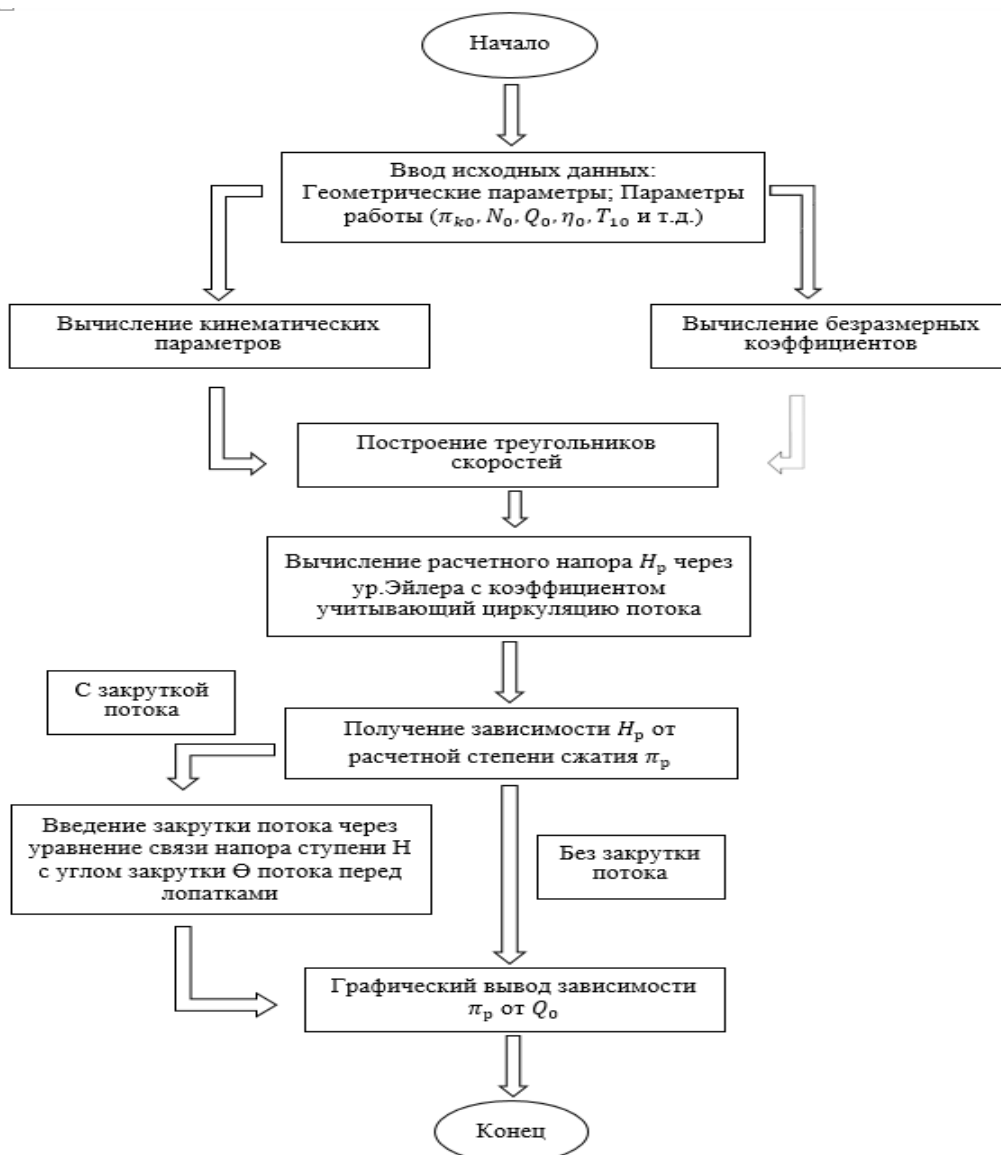


Рисунок 4 – Структура математической модели

Создание данной модели производилось на основе методических указаний приведенных в [6,7]. Полученная математическая модель ЦБН позволяет рассчитать параметры нагнетателя заданной геометрии при произвольном режиме работы, т.е. решить прямую задачу газодинамики. На основе модели проанализировано влияния закрутки потока за счет изменения положения ВНА.

Для моделирования течения в проточной части ЦБН осуществлено построение меридиональных обводов и лопаточного аппарата нагнетателя, построение конечно-элементной сетки (Рисунок 5а), построение расчетной области (Рисунок 5б) и задание граничных условий. Рабочим телом для расчетов послужила модель метана CH₄RK. Использовалась модель турбулентности k-epsilon.

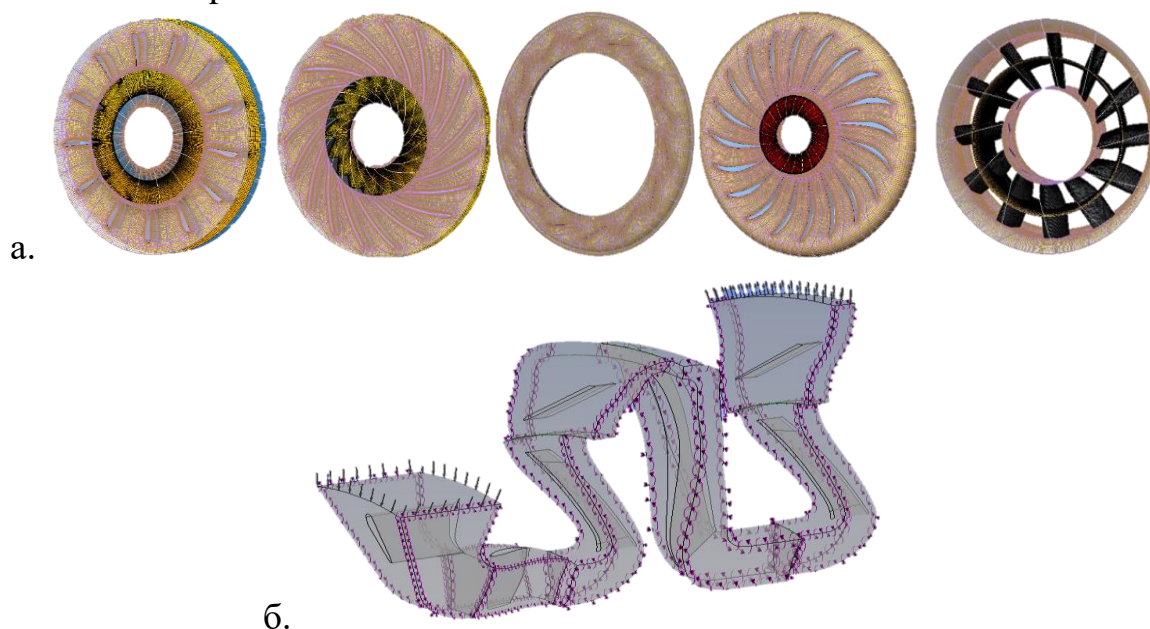


Рисунок 5 – Построение расчетной модели ЦБН: а. – Расчетная сетка (слева направо): Крышка, РК и ЛД 1-й ступени, ОНА и ВНА; б. – Расчетная область с заданными граничными условиями.

В рамках проведения математического моделирования на основе газодинамического проекта ЦБН, было проанализировано влияния положения ВНА на смещение расчетных точек нагнетателя в зоны с наибольшим КПД. Рассмотрено три способа смещения: горизонтальное смещение (с учетом сохранения изначального положения напора и степени сжатия), вертикальное смещение (с учетом сохранения изначального положения объемной производительности) и диагональное смещение (с учетом сохранения расчетной точки на номинальной изодроме). Наилучший результат дали

горизонтальный и диагональный способы смещения. За счет регулирования положения ВНА удалось сместить расчетную точку в область повышенных значений КПД (до $\eta \approx 0,827$). В указанных вариантах осуществлялся поворот ВНА в диапазоне от 22 до 30 градусов в противоположную сторону вращения, т.е. придания отрицательной закрутки потока.

Анализ влияния положения ВНА на параметры работы исследуемого нагнетателя на основе численной модели, качественно подтвердил результаты, полученные в ходе математического моделирования. Стоит отметить, что для уточнения наиболее эффективного угла установки входного направляющего аппарата, в условиях поставленной задачи, рекомендуется проведения эксперимента с натурным образцом.

В настоящем исследовании построена геометрическая и численная модель проточной части центробежного нагнетателя типа RF-2BB-36. На основе газодинамического расчета данного ЦБН создана математическая модель. С её применением проанализировано влияние угла установки входного направляющего аппарата на параметры работы нагнетателя. Даны соответствующие рекомендации по закрутке потока для смещения расчетных точек в зоны с повышенным значением КПД. Разработанная численная модель была использована для качественного подтверждения выводов, полученных на этапе математического моделирования. Для повышения точности (для проведения количественного анализа) необходимо провести более детальную верификацию численной модели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ревзин Б.С. Особенности конструкций одно- и двухступенчатых нагнетателей природного газа: Учебное пособие. Екатеринбург: 2000. - 102 с
2. Ден Г.Н. Проектирование проточной части центробежных компрессоров: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1980. - 232 с
3. Крутиков М.В., Блинов В.Л. Моделирование процесса сжатия газа в проточной части центробежного нагнетателя с регулируемым входным направляющим аппаратом // Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2019. – №2. С.117 – 120.
4. Производственная инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию ГПА типа ГТК – 25И (ГТК – 25ИР). Югорск, 2015г. – 272 с.
5. Крутиков М.В., Ледков Д.Е., Блинов В.Л. 3D-сканирование и доработка проточной части центробежного нагнетателя RF-2BB-36 // труды третьей научно-технической конференции молодых ученых УрФУ. 2018.

6. Цай С.С. Определение основных размеров ступени центробежного нагнетателя природного газа: Методические указания к курсовому проектированию. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. 24 с.
7. Тарасов А.В. Определение основных размеров проточной части центробежного нагнетателя для транспорта газа: Методические указания к курсовому проектированию. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 28с.